

信号与系统

上册

许庆山 张志文 刘荣济 编



航空工业出版社

TN-6

X83

/

355418

信号与系统

上册

许庆山 张志文 刘荣济 编



航空工业出版社

1991

355686

信号与系统

下 册

许庆山 张志文 刘荣济 编



航空工业出版社

1991

(京)新登字161号

内容提要

本书系统地讨论了确定性信号与线性时不变系统的基本理论和基本分析方法。全书分上、下两册共十章，上册第一至第五章讨论了信号与系统的时域分析，包括：信号与系统的基本概念，信号的时域分析，微分与差分方程，卷积，系统的状态空间分析。下册第六至第十章讨论了信号与系统的变换域分析，包括：连续时间傅里叶变换，离散时间和离散傅里叶变换，系统的傅里叶分析，拉氏变换分析，Z变换分析。配合正文，有较丰富的例题和习题。

本书论述严谨，简明扼要。在体系上，采用连续和离散完全并行的方式。在叙述上，力求深入浅出，便于自学。

本书可作为工科高等院校电子工程类专业本科学生的试用教材，也可供有关教师 and 科技人员参考。

DV46/01

信号与系统(上册)

许庆山 张志文 刘荣济 编

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

—邮政编码: 100029—

全国各地新华书店 经售

航空工业出版社印刷厂印刷

1992年2月第1版

1992年2月第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/16

印张: 15.375

印数: 1—2500

字数: 383.8千字

ISBN 7—80046—352—3/TN·011

定价: 4.00元

(京) 新登字161号

内 容 提 要

本书系统地讨论了确定性信号与线性时不变系统的基本理论和基本分析方法。全书分上、下两册共十章。上册第一至第五章讨论了信号与系统的时域分析,包括:信号与系统的基本概念,信号的时域分析,微分与差分方程,卷积,系统的状态空间分析。下册第六至第十章讨论了信号与系统的变换域分析,包括:连续时间傅里叶变换,离散时间和离散傅里叶变换,系统的傅里叶分析,拉氏变换分析,Z变换分析,配合正文,有较丰富的例题和习题。

本书论述严谨,简明扼要。在体系上,采用连续和离散完全并行的方式。在叙述上,力求深入浅出,便于自学。

本书可作为工学高等院校电子工程类专业本科学生的试用教材,也可供有关教师和科技人员参考。

91-6/61

信 号 与 系 统 (下 册)

许庆山 张志文 刘荣济 编

航空工业出版社出版发行
(北京市和平里小关东里14号)
—邮政编码: 100029—
全国各地新华书店经销
航空工业出版社印刷厂印刷

1992年2月第1版	1992年2月第1次印刷
开本: 787×1092毫米 1/16	印张: 21.85
印数: 1—2500	字数: 544千字

ISBN 7—80046—410—5/TN·013

定价: 5.65元

前 言

“信号与系统”课程主要研究信号和系统分析的基本理论。本书通过对确定信号和线性时不变系统的分析,为进一步学习信息传输与处理、通信、控制、网络等理论奠定必要的基础。

在内容编排方式上,本书改变了先连续时间信号与系统、后离散时间信号与系统的传统教学方法,而采用连续和离散并行讨论的方式,其主要原因是:

大规模集成电路和高速数字电子计算机的飞速发展,使得数字技术已渗透到各个学科领域。与此同时,涉及到信号与系统的某些研究方向也逐步向离散、数字方向转移。因此,在信号与系统教学中,有必要加强连续时间信号与系统离散化处理的概念。作者已往的教学实践表明,采用并行讨论方式有助于两大信号与系统之间的类比,有助于加深理解它们之间的共性和差别,从而在加强离散部分的同时又不削弱连续部分,而且可以少费笔墨。

读者在学习本课程之前,应有一定的电路分析基础和数学基础。本书所涉及的数学内容为:微分(差分)方程、级数、复变函数、线性代数等。书中除对差分方程作适当介绍外,将假定读者已具备上述数学基础。学习本课之前,可不必事先开设积分变换课程,这样,全部讲授本书内容,约用100学时左右。

全书共包括十章(上册第一至第五章为时域分析,下册第六至第十章为变换域分析),各章的编排思想和内容简介将在绪论中作说明。

合配正文,书中备有大量的例题和习题,部分章节还配有思考题。书末附有习题答案,仅供参考。

本书第一、二、五、九、十章由张志文(南昌航空工业学院)执笔,第八章由刘荣济(沈阳航空工业学院)执笔,绪论和第三、四、六、七章由许庆山(沈阳航空工业学院)执笔。由许庆山任主编。

本书为航空航天工业部规划教材,承北京航空航天大学潘维瀚教授审阅。潘维瀚教授对书稿提出了许多宝贵和中肯的修改意见,这些意见对本书的最后定稿帮助很大,作者在此表示衷心感谢。刘玉华同志为本书绘制了部分插图,在此表示谢意。

限于水平,加之时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1990年7月

目 录

上 册 目 录

绪论	(1)
第一章 信号与系统的基本概念	(5)
§ 1.1 引言	(5)
§ 1.2 信号举例	(5)
§ 1.3 信号 的分类	(7)
一、连续时间信号与离散时间信号	(7)
二、确定信号与随机信号	(8)
三、周期信号与非周期信号	(9)
§ 1.4 基 本 的 时 间 信 号	(9)
一、恒值信号与阶跃信号	(9)
二、冲激信号	(10)
三、斜坡信号	(11)
四、指数类信号	(12)
§ 1.5 信 号 的 运 算	(14)
一、加法运算——信号相加	(14)
二、乘法运算——信号相乘	(15)
三、信号与常数相乘	(17)
四、信号的时移运算	(17)
五、信号的微分与积分	(17)
六、信号的差分与迭分	(19)
§ 1.6 系 统 及 其 功 能	(22)
§ 1.7 系 统 的 数 学 模 型	(24)
§ 1.8 系 统 的 算 子 方 程	(29)
一、连续时间系统的算子方程	(29)
二、离散时间系统的算子方程	(33)
§ 1.9 系 统 的 状 态 与 状 态 方 程	(34)
§ 1.10 系 统 的 基 本 性 质 与 分 类	(37)
一、系统的基本性质	(37)
二、系统的分类	(42)
习题	(43)
第二章 信号的时域分析	(50)
§ 2.1 引 言	(50)
§ 2.2 信 号 的 连 续 性 与 可 微 性	(50)

§ 2.3 信号的时移与反褶特性	(52)
§ 2.4 信号的尺度特性——信号的压缩与展开	(54)
§ 2.5 信号的对称性	(58)
§ 2.6 信号的能量、功率与参数	(60)
§ 2.7 信号的相似性与相关函数	(64)
一、信号的相似性	(64)
二、相关函数	(66)
§ 2.8 信号的分解与逼近	(70)
一、信号的分解与逼近的概念	(70)
二、平方误差积分极小化	(71)
§ 2.9 信号的正交特性与正交分解	(74)
一、信号的正交特性	(74)
二、常用的几个正交基本信号组	(76)
习题	(80)
第三章 微分方程与差分方程	(85)
§ 3.1 引言	(85)
§ 3.2 微分方程的时域经典解法	(86)
一、齐次解与特解	(86)
二、自由响应与强迫响应	(92)
§ 3.3 零输入响应与零状态响应	(93)
§ 3.4 初始条件的确定	(96)
一、物理概念判断法	(96)
二、 δ 函数平衡法	(97)
§ 3.5 初始状态与激励的等效	(100)
§ 3.6 差分方程的时域解法	(102)
一、迭代法	(102)
二、齐次解与特解	(103)
三、零输入响应与零状态响应	(109)
§ 3.7 微分方程近似为差分方程	(111)
§ 3.8 线性、时不变性	(118)
习题	(119)
第四章 卷积	(124)
§ 4.1 引言	(124)
§ 4.2 信号的时域分解	(125)
一、离散时间信号的分解	(125)
二、连续时间信号的分解	(125)
§ 4.3 单位样值响应与单位冲激响应	(126)
一、单位样值响应 $h(k)$	(126)
二、单位冲激响应 $h(t)$	(128)

§ 4.4 冲激与窄脉冲	(133)
§ 4.5 离散时间系统的卷积和	(135)
一、卷积和的定义	(135)
二、利用定义式直接计算卷积和	(137)
三、利用图形辅助计算卷积和	(138)
§ 4.6 连续时间系统的卷积积分	(144)
一、卷积积分的定义	(144)
二、利用定义式直接计算卷积积分	(146)
三、利用图形辅助计算卷积积分	(147)
四、对卷积公式的进一步讨论	(152)
§ 4.7 δ 函数	(155)
一、 $\delta(t)$ 的性质	(156)
二、 $\delta'(t)$ 的性质	(158)
三、冲激函数的高阶导数	(159)
§ 4.8 卷积的性质	(159)
一、代数性质	(159)
二、时不变性	(160)
三、卷积积分的微分和积分性质	(161)
§ 4.9 周期卷积	(165)
一、周期连续时间信号的卷积	(165)
二、周期离散时间信号的卷积	(166)
§ 4.10 卷积积分的数值解	(167)
§ 4.11 因果性、稳定性	(169)
一、因果性	(169)
二、稳定性	(172)
习题	(175)
第五章 状态空间方程	(182)
§ 5.1 引言	(182)
§ 5.2 系统的状态空间模型	(182)
§ 5.3 状态空间方程的时域求解	(187)
一、连续状态空间方程的矩阵解	(188)
二、状态转移矩阵 e^{At} 的计算	(193)
三、离散状态空间方程的矩阵解	(199)
§ 5.4 系统状态空间的稳定性	(204)
一、平衡点与工作点的稳定性	(204)
二、线性时不变系统的零输入状态稳定性	(206)
三、有界输入与有界输出的稳定性	(209)
§ 5.5 系统的能控性与能观测性	(210)
一、系统的能控性	(210)

二、系统的能观测性.....	(215)
习题.....	(217)
习题参考答案.....	(223)
附录 I	(237)

下 册 目 录

第六章 连续时间信号与系统的傅里叶分析	(239)
§ 6.1 引言	(239)
§ 6.2 连续时间周期信号的傅里叶级数	(240)
一、指数形式傅里叶级数	(240)
二、正余弦形式傅里叶级数	(244)
三、幅角形式傅里叶级数	(245)
§ 6.3 连续时间傅里叶级数的性质	(246)
§ 6.4 周期信号的离散频谱	(252)
§ 6.5 帕色伐尔定理	(255)
一、周期信号的平均功率	(255)
二、信号的频带宽度与有限项傅里叶级数	(256)
三、吉布斯现象	(258)
§ 6.6 连续时间非周期信号的傅里叶变换	(258)
一、从傅里叶级数的系数到傅里叶变换	(258)
二、从傅里叶级数到傅里叶积分	(260)
三、傅里叶变换的物理意义	(261)
§ 6.7 非周期信号的连续频谱	(262)
一、常用信号的傅里叶变换	(262)
二、非周期信号的频带宽度	(264)
§ 6.8 连续时间傅里叶变换的性质	(265)
§ 6.9 系统的频率响应	(284)
一、系统的频率响应	(284)
二、系统的正弦稳态响应	(285)
§ 6.10 周期信号的傅里叶变换	(286)
§ 6.11 采样	(289)
一、斩波采样	(289)
二、冲激采样	(291)
三、采样定理	(294)
四、从采样中恢复信号	(295)
五、频域采样	(300)
§ 6.12 相关函数与谱密度	(301)
一、能量谱密度和功率谱密度	(301)
二、相关函数与谱密度	(304)
习题	(305)

第七章 离散时间信号与系统的傅里叶分析	(313)
§ 7.1 引 言	(313)
§ 7.2 离 散 时 间 傅 里 叶 级 数 (DFS)	(314)
一、DFS 的定义	(314)
二、周期序列的离散频谱	(318)
§ 7.3 离 散 时 间 傅 里 叶 级 数 的 性 质	(321)
§ 7.4 离 散 时 间 傅 里 叶 变 换 (DTFT)	(323)
一、从 DFS 的系数到 DTFT	(323)
二、从 DFS 到离散时间傅里叶积分	(325)
三、常用序列的 DTFT	(327)
§ 7.5 离 散 时 间 傅 里 叶 变 换 的 性 质	(329)
§ 7.6 系 统 的 频 率 响 应	(336)
§ 7.7 周 期 离 散 信 号 的 DTFT	(337)
§ 7.8 离 散 时 间 信 号 的 采 样	(339)
§ 7.9 连 续 时 间 和 离 散 时 间 傅 里 叶 变 换 之 间 的 关 系	(342)
§ 7.10 离 散 傅 里 叶 变 换 (DFT)	(345)
§ 7.11 连 续、离 散 时 间 傅 里 叶 变 换 与 DFT 的 关 系	(349)
§ 7.12 离 散 傅 里 叶 变 换 的 性 质	(354)
习 题	(362)
第八章 系统的傅里叶分析	(367)
§ 8.1 引 言	(367)
§ 8.2 用 傅 里 叶 分 析 法 求 系 统 的 响 应	(367)
一、非周期信号激励下系统的响应	(367)
二、周期信号激励下系统的响应	(371)
§ 8.3 无 失 真 传 输	(372)
§ 8.4 信 号 的 滤 波	(374)
§ 8.5 理 想 低 通 滤 波 器	(376)
一、模拟理想低通滤波器的单位冲激响应	(376)
二、模拟理想低通滤波器的单位阶跃响应	(378)
三、吉布斯现象的解释	(380)
四、数字理想低通滤波器	(380)
§ 8.6 非 理 想 滤 波 器	(381)
一、连续时间频率选择性滤波器举例	(382)
二、离散时间频率选择性滤波器举例	(383)
§ 8.7 振 幅 调 制 与 解 调	(385)
一、连续时间正弦振幅调制与解调	(385)
二、连续时间单边带振幅调制	(387)
三、脉冲振幅调制	(390)
四、离散时间振幅调制	(391)

§ 8.8 频分复用和时分复用	(392)
一、频分复用 (FDM)	(392)
二、时分复用 (TDM)	(393)
习题	(393)
第九章 拉普拉斯变换分析	(399)
§ 9.1 引言	(399)
§ 9.2 拉普拉斯变换及其收敛域	(401)
§ 9.3 常用信号的拉普拉斯变换	(405)
§ 9.4 拉普拉斯变换的基本性质	(410)
§ 9.5 拉普拉斯反变换	(415)
一、部分分式法	(415)
二、围线积分法	(431)
§ 9.6 信号的复频域分析	(434)
一、信号的零极点分析	(434)
二、信号的复频谱密度函数	(436)
三、拉氏变换与傅氏变换的转换	(437)
§ 9.7 网络的复频域模型与计算	(437)
一、基尔霍夫定律	(438)
二、元件的变换	(438)
三、网络计算	(440)
§ 9.8 系统函数	(447)
一、系统函数与微分方程的求解	(447)
二、复频率响应——系统对 e^{st} 的响应	(451)
三、复频率响应的计算	(452)
§ 9.9 系统函数 $H(s)$ 与系统的频率响应 $H(j\omega)$	(454)
一、零极点与频率响应 $H(j\omega)$	(454)
二、伯德 (Bode) 图	(458)
§ 9.10 状态方程的变换解与系统函数矩阵	(464)
§ 9.11 S 域中的稳定性与劳斯判据	(466)
一、零状态的稳定性——BIBO稳定性	(466)
二、零输入的稳定性	(467)
三、劳斯 (Routh) 稳定判据	(468)
§ 9.12 连续时间反馈系统	(471)
一、反馈系统的系统函数	(471)
二、方块图	(471)
§ 9.13 系统函数与能控性和能观测性	(477)
一、系统函数与状态方程	(477)
二、零极点相消对能控性与能观测性的影响	(480)
习题	(482)

第十章 Z 变换分析	(492)
§ 10.1 引言.....	(492)
§ 10.2 Z 变换及其收敛域.....	(495)
一、Z 变换的定义.....	(495)
二、Z 变换的收敛域.....	(498)
§ 10.3 Z 变换的性质.....	(502)
§ 10.4 逆 Z 变换.....	(515)
一、幂级数展开法.....	(516)
二、部分分式法.....	(518)
三、围线积分法(留数法).....	(521)
§ 10.5 离散系统函数与差分方程求解.....	(522)
§ 10.6 系统的复频率响应与频率响应.....	(529)
一、系统的复频率响应.....	(529)
二、系统的频率响应.....	(531)
三、系统函数的零、极点与频率响应.....	(533)
§ 10.7 离散时间系统状态方程的变换解与系统函数矩阵.....	(534)
§ 10.8 离散系统函数的实现与状态方程.....	(537)
一、并联实现.....	(537)
二、串联实现.....	(542)
§ 10.9 离散系统函数与稳性.....	(544)
§ 10.10 离散时间反馈系统.....	(547)
习题.....	(547)
附录 I.....	(551)
附录 II.....	(556)
习题参考答案.....	(562)
参考书目.....	(582)

绪 论

“系统”可以看作是一个由许多相互关联的事物组合在一起以便完成某种特定功能的有机整体。显然，这样的系统到处可见，如机械系统、通信系统、控制系统、化工系统、光学系统、语音处理和图象识别系统、地震预报系统等等。尽管系统的概念存在于各种不同的学科和领域，但是，系统所实现的功能，几乎都可以看成是对输入信号的传输、加工和变换。例如，收音机把接收的电磁波变换成语音信号；照像机把接收的物体反射的光信号还原成物体的图像；电子计算机将输入的数据进行处理，以便从输出数据中得到原输入数据所包含的信息。

“信号”作为某种物理量的体现，含有该物理量所代表的信息（消息），并且常常可以表为一个或几个独立变量的函数。如用热电偶测温时得到的温差电信号，代表着被测物体温度这个物理量随时间变化的规律，因此该电信号可表为时间的函数。不难想象，为了使系统有效地加工变换信号，人们必须在信号通过系统之前就对信号进行深入研究，于是形成了“信号分析”这门学科。例如，在通信系统中，恰当地选择载波信号的频率和调制方式，是确保通信质量的第一步。

“系统理论”主要包括两方面：分析和综合（实现）。系统分析通常是指研究参数和结构均已给定的系统的性能，其中包括系统对给定输入（激励）信号产生什么样的输出（响应）信号，或是从给定激励及其响应之间的关系来分析系统的性能，以便进一步改进这一系统，等等。系统综合是指对给定的系统性能指标要求，找出实现的方法，并具体实现之。一般来说，综合一个复杂的系统不是一件轻而易举的事，它需要综合者本人的丰富经验和创造精神，尤其必须首先熟悉系统分析的理论、方法及手段。本书关于系统的讨论，主要限于系统分析，并且以通信、控制、测量和信号处理为背景。

“系统分析”的过程一般可分为三步：首先，建立系统的“数学模型”，即写出一个联系系统输入和输出信号之间的数学表达式。应该指出，当系统复杂时，列写准确的模型是非常困难的，同样需要分析者的丰富实践经验和扎实的理论基础。其次，采用适当的数学方法去处理这个模型，以便从中得到想知道的结果，如求出系统对给定激励的响应的数学表达式等等。最后，再对所得到的数学解进行物理解释，从中了解系统对信号传输的物理过程。可见，从数学意义上说，系统对信号的作用是对信号施加一定的数学运算。

本书的目的是，用各种不同的数学方法对信号和系统进行分析，以便通过数学描述得到信号通过系统这一物理过程中的许多重要概念、方法和思想。

本书涉及的基本数学方法是：用函数表示信号、微分与差分方程、卷积、状态方程、傅里叶级数、傅里叶变换、拉普拉斯变换、Z变换等等。应用这些数学手段，可以求解系统对给定激励信号的响应的数学表达式，可以对诸如信号的分解、滤波、调制与解调、采样以及系统的无失真传输、系统的状态、因果性、稳定性、能控性和能观性等等物理本质得到满意的数学描述。

必须指出,信号的数学分析方法和系统的数学分析方法常常是密切相关的,不同的信号描述方法对应着不同的系统分析方法,以适应不同的需要。例如,一个确定的连续时间信号,它的一个主要时间特征是随时间变化的快慢。当我们仅仅把这个信号看作是时间函数时,可以通过在时域求解系统模型,得出系统对它响应的时域函数式,这一过程称为信号与系统的“时域分析”。然而,为了深刻理解系统使输出波形有别于输入波形的原因,最好将输入信号的描述进行变换,得到它的频谱函数,然后采用系统的傅里叶分析法去进行说明,这就是信号与系统的“频域分析”。

鉴于系统的种类繁多,本书只限于研究确定信号通过“线性时不变”(Linear Time-Invariant,简记LTI)系统的问题。主要因为,线性系统的数学分析方法已相当成熟,并且线性系统广泛地存在着。而非线性系统分析,目前仍尚无一套完整的数学工具,基本上局限于数值近似分析和图解法。尤其是,许多非线性系统,在一定的工程允许误差范围内,可以近似为一个线性系统。

本书讨论的确定信号可分为两类:一类是随时间连续变化的,称为“连续时间信号”,如电路中的电压和电流;另一类是只在给定的离散时刻才有值的,称为“离散时间信号”(序列),如工厂产品的日产量。处理连续(离散)时间信号的系统,称为“连续(离散)时间系统”,于是,这自然产生了两种信号与系统体系。由于历史的原因,连续时间信号与系统在通信、电路和电子线路以及其它物理系统中得到了广泛应用;而离散时间信号与系统在数值分析、经济、管理以及人口统计等方面找到了用武之地。然而,随着高速数字计算机的飞速发展,尤其是大规模和超大规模集成电路的涌现,使得连续时间信号离散化处理愈发显示出一发而不可收的优越性,这就迫使工程技术人员不得不必须把两大信号与系统在理论和技术上密切结合起来。

鉴于此,本书采取了将连续和离散两大信号与系统以完全并行的方式展开讨论。

全书共分十章,简介如下。

第一章主要介绍信号与系统分析中最基本的概念,以便为后续章节的分析作准备。本章首先通过大量实例说明信号是一个或几个变量的函数,然后给出了LTI系统分析中常用的基本信号,以及信号作为函数的一些基本运算。接下来,通过列写系统数学模型的实例,阐明系统对信号传输变换的实质,从数学上说是对信号施加数学运算这一重要概念,并将这种运算过程用模拟框图加以表示。最后,说明了系统的一些基本属性,尤其是LTI系统的性质。

第二章把信号作为时间的函数,讨论了确定信号的一些基本属性(如连续、可微、对称和相关),信号的自变量变换(如时移、反褶和尺度变换),以及信号的一些特征参数(如功率和能量)。最后,讨论了信号的正交特性及正交分解。

第三章通过对微分和差分方程的时域求解,讨论了“单输入-单输出”系统的时域经典解法。在此期间,通过零输入和零状态响应,对系统的运算功能作了进一步的数学和物理解释。在求解过程中,强调了系统的因果性和状态,并指出了系统状态跳变的原因和确定方法。接着,通过微分方程近似为差分方程,使读者初步体会到连续系统离散化处理的概念。最后,讨论了常系数线性微分(差分)方程代表一个LTI系统的条件。

第四章首先从信号的时域分解入手,将连续信号分解为单位冲激信号及其时移的加权连续和,将离散序列分解为单位样值序列及其时移的加权和,然后,通过系统的单位冲激(样值)响应,再利用LTI系统的线性和时不变性,引出了系统的又一种重要时域分析方法——

卷积。通过对卷积的详细讨论,可使读者深刻理解系统对信号的运算功能,体会到信号分析与系统分析的密切关系,以及线性和时不变性在LTI系统分析中的特殊地位。考虑到 $\delta(t)$ 作为广义函数,是一种理论抽象,不同于普通函数的事实,在§4.4讨论了如何用窄脉冲近似 δ 函数,在§4.7讨论了 δ 函数在卷积积分中的“表现”。无疑,这些讨论将有助于初学者对 δ 函数的理解。本章最后讨论了单输入-单输出LTI系统的因果性和稳定性(包括零输入稳定和零状态稳定)。在这一章中,稳定性的研究是在时域进行的。因此系统的零输入稳定性是通过微分或差分方程的特征根来表征的,而零状态稳定性(即BIBO稳定)是通过系统的单位冲激响应 $h(t)$ 或单位样值响应 $h(k)$ 来表征的。

第五章首先通过对系统状态方程的列写,进一步阐明状态变量的含义。接着给出了“多输入-多输出”系统状态方程的时域解法,其中,主要讨论了状态方程的矩阵卷积解法。本章最后在时域就系统的状态空间稳定性作了稍微深入地讨论,并介绍了系统的能控性和能观测性的概念及其判别方法。

第六章的内容是信号与系统的傅里叶分析(频域分析)。本章首先通过第一章的虚指数正交函数集,将连续时间周期信号分解为虚指数信号 $e^{jk\omega_0 t}$ 的线性组合,从而引出了傅里叶级数。接着,把非周期信号看作是周期信号当周期趋于无穷时的极限,将其分解为频率连续的虚指数信号 $e^{j\omega t}$ 的连续和(积分),从而引出了傅里叶变换。上述的信号分解方法给LTI系统分析带来极大方便,因为LTI系统对虚指数信号的运算仅仅表现为乘一个复常数。本章详细地讨论了信号与系统频率响应的概念,着重研究了傅里叶级数和傅里叶变换的各种性质。将会看到,这些都是研究信号的采样、滤波、调制与解调、无失真传输等问题的重要理论基础。

第七章首先通过对连续时间周期信号的采样,导出了周期序列的离散时间傅里叶级数(DFS)。然后,采用与第六章平行的方式,引出了非周期序列的离散时间傅里叶变换(DTFT),类似于连续时间的情况,我们这样做的原因在于,LTI离散系统对虚指数序列的运算功能也仅仅表现为乘一个复常数。因此,本章也详细地讨论了DFS和DTFT的许多性质。本章还讨论了离散时间情况的特殊问题,即离散傅里叶变换(DFT)。介绍DFT主要出自两方面的考虑:一是因为,用数字计算机对信号进行频谱分析已经成为信号理论中的重要分支;二是因为,在DFS和DTFT之后讲解DFT顺理成章,读者不难接受。因此,本章还特别讨论了连续时间傅里叶变换、DTFT、DFT三者之间的关系,借以帮助读者掌握两大信号与系统频域分析之间的内在联系。

第八章主要通过连续和离散时间傅里叶变换,对信号通过LTI系统进行频域分析。应用傅里叶变换,引出在网络理论、通信系统和控制系统中的许多重要概念,如滤波、无失真传输、理想低通滤波器、调制与解调、频分复用与时分复用等等。

第九章和第十章分别讨论了拉普拉斯变换和Z变换,其中包括双边和单边的两种形式。在引出拉普拉斯变换时,我们把它看作是广义傅里叶变换(即复傅里叶变换);而在引出Z变换时,是通过对拉普拉斯变换的时域离散化并作变量代换来得到的。接下来,两章的内容几乎是平行的:分别讨论了拉普拉斯变换和Z变换的收敛域及其各种性质,反变换方法,系统函数(即系统的复频率响应)及其与系统频率响应的关系,用系统函数零极点实现频率特性的几何作图法,用单边变换求解非零初始条件的微分或差分方程,状态方程的变换域解法与系统函数矩阵,并且在复频域研究了系统的稳定性及其代数判据。最后,简单地讨论了反